6 DJ 8 直結ドライブ

πMOS-FET パワー・アンプの製作

―無調整で作れるユニークなハイブリッド・アンプ

池田敏弘

これまで，数回，無調整 MOS-FET/V-FET パワー・アンプなどを発表してまいりました．知人たちからは「製作容易にもかかわらず，音楽再生に優れている．管球式 OTL アンプを思わせる音質」という評価をもらっています．一方，製作容易とするため，電圧増幅段に FET 入力汎用 Op アンプを使用したため，最大出力は 8 Ω 負荷で約 15 W が限界です．一般家庭での使用なら十分な出力ですが，出力アップを望む意見も一部いただきました．そこで今回は，電圧増幅段をディスクリート構成としながら，これまでの設計思想である製作容易・音楽再生重視を基本にパワーアップを図った，真空管ドライブによる全段直結 πMOS-FET パワー・アンプを設計製作しました．

回路のあらまし

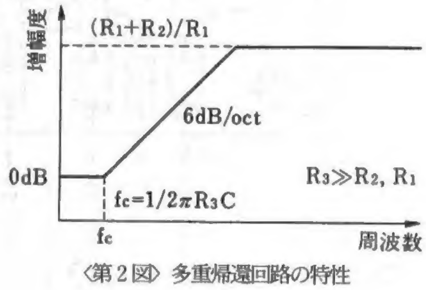
(1) FET＋真空管の全段直結ハイブリッド電圧増幅段

電圧増幅段に汎用 FET 入力 Op アンプを用いた場合，電源電圧の関係により 20 W を越える出力を出すことは不可能です．

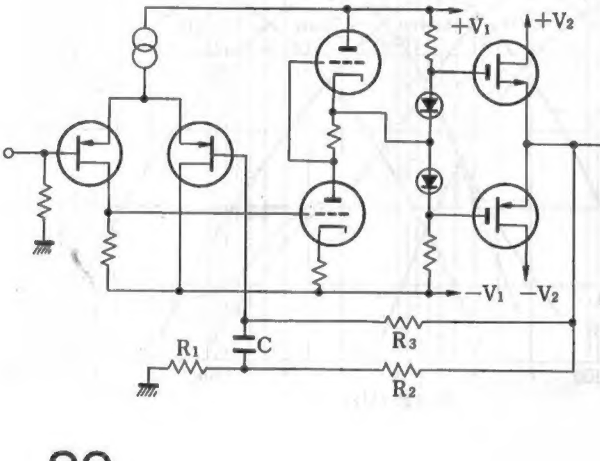
出力増大を実現するには，電圧増幅段を，高電圧に十分耐え安定的に動作する回路構成，たとえば本誌 90 年 9 月号で発表した対アース増幅型全段 PP 回路などのディスクリート構成電圧増幅段にしなければなりません．一方，ディスクリート構成にすることで，自作初心者にとっては回路が複雑に見え，製作することが少し困難となります．

そこで，通常アンプでよく見られる初段差動増幅回路，2 段目定電流負荷増幅回路という電圧増幅 2 段構成を基本にしながら，市販アンプ等には存在しない音楽再生と視覚的要素を重要視したオリジナル回路を考案し，出力増大と製作容易の両立を実現させることにしました．

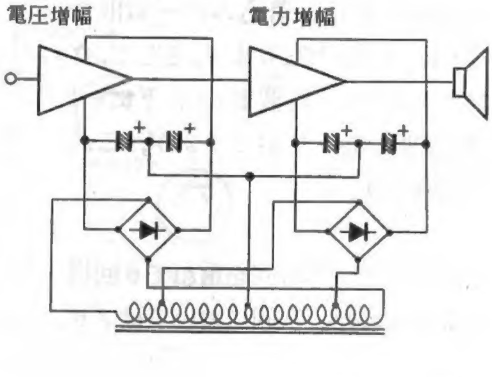
第 1 図に本機増幅部の回路概要を示します．初段については，インプ



〈第 2 図〉 多重帰還回路の特性



◀〈第 1 図〉 ドライブ段に 6 DJ 8 を使った直結型のパワー・アンプ構成

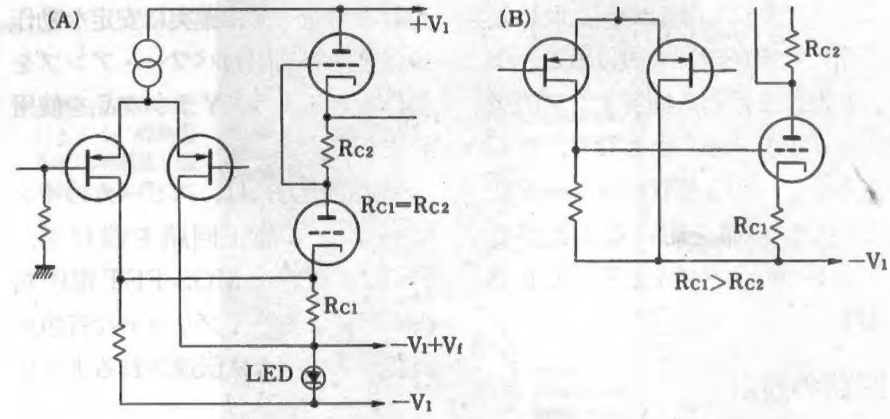


〈第 3 図〉▶ 簡易安定化電源の考えかた

ット・コンデンサレスという観点から，FET入力としました．2段目は，カスケード接続することなく高電圧に十分耐え，小信号から大信号まで扱える3極管を使用してSRPP（シャント・レギュレーテッド・プッシュプル）回路としました．

全段直結を実現するために，初段FETはPchタイプとして2段目3極管に直結し，出力段MOS-FETのバイアスは，前作のMOS-FET/V-FETパワー・アンプで実績のあるLEDの順方向電圧を利用した無調整バイアス回路とし，3極管がMOS-FETをダイレクトにドライブします．

DCオフセットの安定化については，これも実績のある多重帰還方式を採用しています．しかし，今回は全段3段構成とシンプルであり，FET，3極管，MOS-FETといずれも電圧制御素子で相性がよいので，音声周波数帯域でのNFBを電圧増幅段出力から入力へ一部帰還することはしないで，終段からのみの帰還としました．



〈第4図〉(A)は本機．(B)は従来の高カソード抵抗型．(A)のLEDをはずすと別電源が必要となる

多重帰還の低減のカットオフ周波数 f_c は下記の式で定義されます．

$f_c=1/2\pi CR$

となり，低域の周波数特性は第2図に示されたようになります．

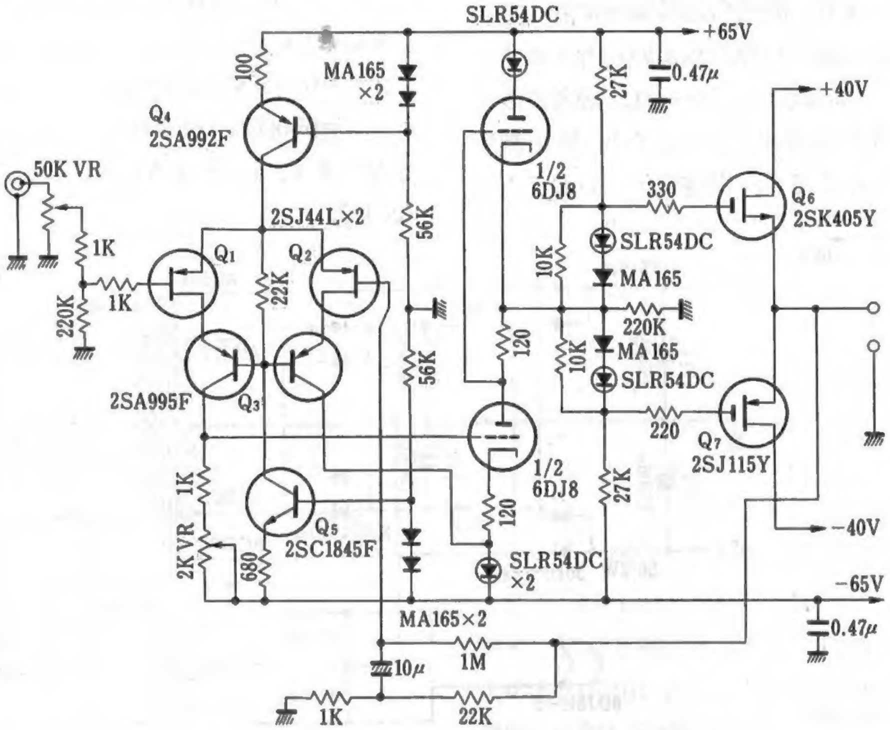
(2) 電圧増幅段用簡易安定化電源とLED電圧シフト回路

2段目に3極管を使用していることもあり，電圧増幅段の電源電圧を安定にする必要があります．一方，高電圧のため単純に汎用3端子レギュレータIC等を使用することは不可能であり，通常の安定化電源回路を用いた場合，誤差増幅/制御回路がディスクリート構成で複雑になり，製作が難しくなります．

そこで第3図のように，本機は，本誌90年9月号発表「対アース型全段プッシュプル・アンプ」で採用したステージ分離電源回路方式を使用します．電圧増幅段についても電力増幅段（出力段）に使用する10,000 μF以上の平滑コンデンサを用い，電力増幅段の電源とは別に整流回路を設置してステージ間の干渉を断ち，さらに定電流化することで，電源電圧の安定化を実現しました．

ところで，電圧増幅段2段目の3極管の動作を十分活かすためには，初段片側の電源電圧を2段目カソード側電圧よりさらに負電圧としなければなりません．この場合，第4図(A)のLEDをはずした形となり，前記の簡易安定化電源とは別に新たな電圧の電源が必要となり，回路が複雑化し製作が難しくなります．一方，新たな電圧電源を用いず簡易安定化電源のみ用いる場合には，第4図(B)に示されているように，カソード側抵抗値 R_{c1} を大きくすることでとりあえず対応することはできますが，2段目と3極管アンプのゲインがダウンし，もう1つの3極管とのバランスがくずれます．

そこで本機は，第4図(A)に示されているように，2段目3極管のカソード側にLED電圧シフト回路を設



〈第5図〉 πMOS-FET PPパワー・アンプの増幅部全回路図

けることで対応しました．これにより，新たな電圧電源を設けることなく，また，２段目３極管アンプのゲインをダウンすることもなく，さらに，もう１つの３極管のカソード抵抗と同じ抵抗値を用いることができ，上下のバランスをとることもできます．

回路の設計

本機増幅部回路図を**第５図**に示します．入力段は，PchFET/2 SJ 44 L とデュアル Tr/2 SA 995 F とによるカスコード・ブートストラップ差動回路とし，FET の耐圧を稼ぎ，ドレイン～ソース間のコモン・モード電圧の発生を押さえています．

２段目は，前述のとおり電圧増幅用双３極管 6 DJ 8 による SRPP 回路です．

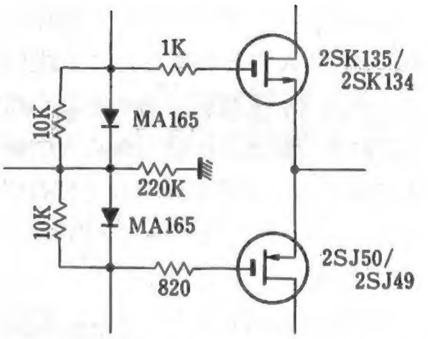
出力段には，本誌 97 年 11 月号に発表した無調整 MOS-FET パワー・アンプで使用した πMOS-FET/2 SK 405, 2 SJ 115 を使用しています．電源電圧が前記発表のものに比べ高くなっていますので，O ランク品を使用した場合，ひずみ率特性等は非常に優秀ですが，アイドリング電流が大きくなるので，十分な放熱を考慮しなければなりません．今回は，初心者の方でも，放熱設計を考慮せずに確実に安定な動作を保証する高出力パワー・アンプを製作できるよう，Y ランク品を使用しました．

増幅部出力には，スピーカのインピーダンス補正回路を設けず，FET/真空管/πMOS-FET 電圧制御素子によるハイブリッドな音色が直接，スピーカに伝達されるようにしました．

ところで，出力段の 2 SK 405，2 SJ 115 が入手困難となってきましたので，代替え回路案として，2 SK 134/135，2 SJ 49/50 を用いた回路図を**第６図**に示します．このときの無調整バイアス回路は LED ではなく一般的なシリコン・ダイオード MA 165 等を使用します．また，発振防止のゲート抵抗は大きくする必要があり，Nch 側 1 kΩ，Pch 側 820 Ω を接続します．

ここで，電圧増幅段の各素子の電流設定値について，**第７図**を使って簡単に説明します．最適電流設定値をどの点に置くかは，素子の最大定格に対する余裕のない設計をしないかぎり，読者のポリシーに沿って設計を進められたらよいと考えます．

私の設計ポリシーは，読者のみなさんが各素子の I_{DSS} や h_{fe} 等を測定しなくても，指定ランクの素子を使



〈第６図〉 K 135/J 50 としたときのバイアス部

用して本レポートどおり製作するだけで，失敗なしに，ここに発表したレベルの物理特性と，本機独特の音楽再生能力を保証できるものを実現していただくことです．これに基いて電流値を決定しています．

(1) 電圧増幅段の設計値

電圧増幅段における直流関係の近似値は下記のようになります．

$I_c = 2I_D + I_{c1}$

（I_c：Q_4 の定電流値
I_D：$Q_{1,2}$ の各ドレイン電流
I_{c1}：Q_5 の定電流値）

最初に I_D の目標値を決めます．

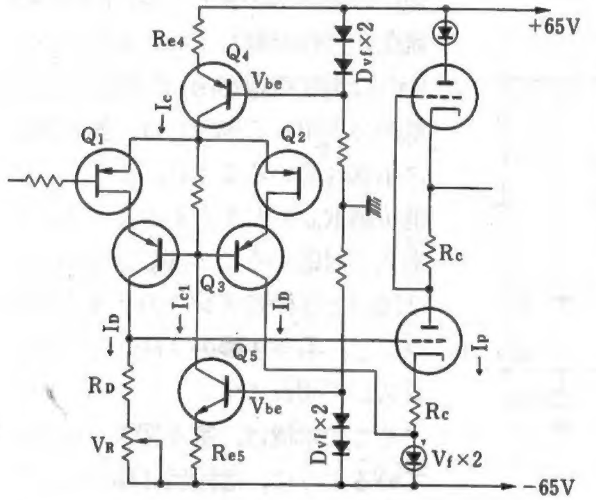
$I_D = I_{DSS\ min}/2 = 5/2$
$= 2.5(mA)$

（$I_{DSS\ min}$：L ランク I_{DSS} 最小値）

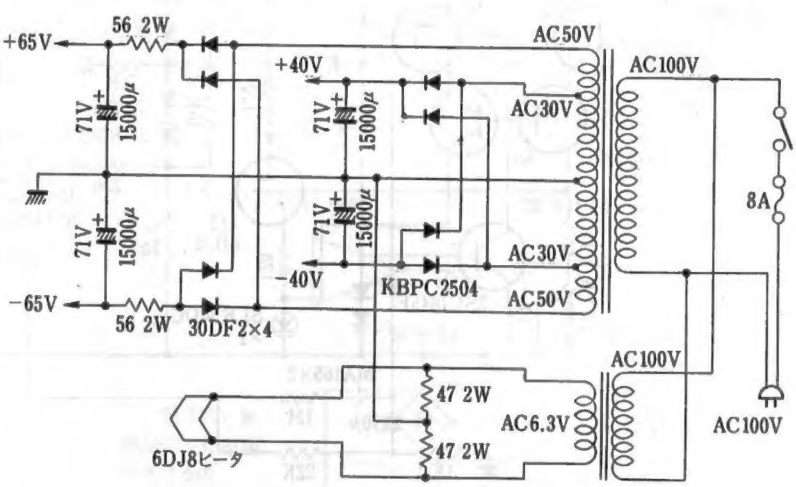
とします．$I_{c1} = 1\,mA$ とすると，

$R_{e5} = V_{be}/I_{c1}$
$= 0.65(V)/1(mA)$
$= 650(\Omega) \rightarrow 680(\Omega)$

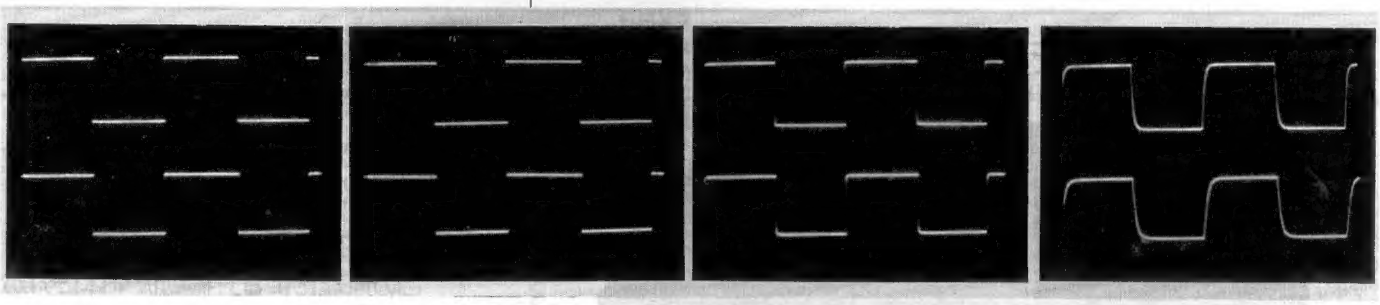
となります．$I_c = 6\,mA(2\times2.5+1)$ なので，



〈第７図〉 電圧増幅段の定数設定



〈第８図〉 本機の電源部回路



＜写真 A＞ 本機の方形波応答．上：入力，下：出力．左から 100，1 k，10 k，100 kHz

ラル(N)側のリード線とより合わせます．

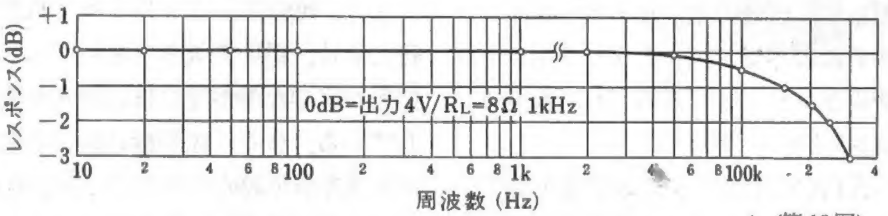
ヒータ用電源トランスの方についても同様です．ヒータ電圧の 47 Ω/47 Ω を介した中点は，主電源トランス側の GND に接続します．真空管 9 P ミニュチュア・ソケットの 9 P 目は GND ですので，増幅部 GND に接続します．

組み立て配線が完了したら，回路図どおりに確実に配線されているかを確認してください．オフセット電圧調整の半固定 VR は真ん中付近に仮調し，つぎに電源を ON し，スピーカ出力端子のオフセット電圧を測定します．±10 mV 以内におさまるように前記の半固定 VR を調整します．万が一上記の値におさまらないときは，組み立て，配線等を再度見直し，不具合が解決してから，音出しを実施してください．

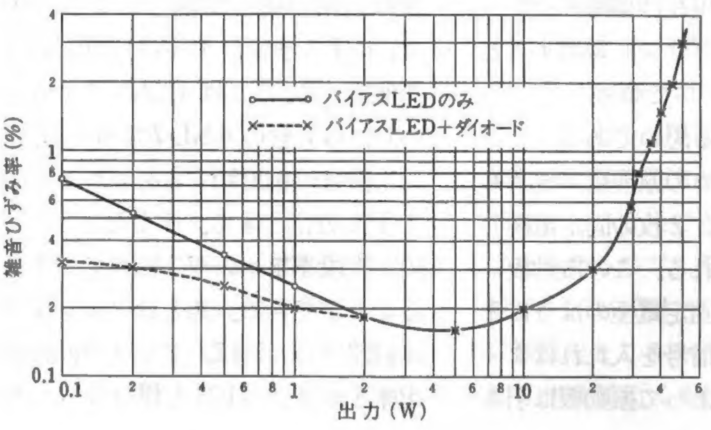
また，電源 ON 経過後，手を放熱器に触れられるかどうか確認してください．もし触れることができないくらい熱い場合は，出力段バイアス回路のダイオードをはずし，LED のみとし，アイドル電流を減らしてください．

電気的特性

周波数特性を**第 12 図**に，雑音ひずみ率特性を**第 13 図**に示します．周波数特性は，10 Hz～200 kHz＋0，－3 dB 以内の特性，雑音ひずみ率は，出力段 πMOS-FET に Y ランクを使用した時の特性を示しています．小出力では B 級出力段のひずみが，また大出力では A 級電圧増幅段のひずみが主体となっています．参考までに，出力段のバイアス回路が LED のみの場合を実線で，LED＋ダイオードの場合を点線で示しておきます．



▲〈第 12 図〉
周波数特性



◀〈第 13 図〉
雑音ひずみ率特性

写真 A に本機の方形波特性を示します．オーバシュート，アンダシュート，リンギング等の過渡応答はなく，素直な特性です．

本機は，97 年 11 月号発表の πMOS-FET アンプと 99 年 8 月号発表の V-FET アンプとの中間の音質をもったアンプで，超低域～高域までバランスよく再生し，音に厚みが感じられます．また，現代的な広帯域な周波数特性を持つアンプにもかかわらず，真空管の灯りが心をなでませてもくれます．

いずれにせよ，このアンプは初心者のかたでも比較的容易に製作できる高出力アンプであり，市販アンプでは味わうことのできない要素を味わうことができ，音楽再生を楽しくさせてくれます．

なお，本機および過去に本誌で発表しましたアンプについて，ご意見・ご質問のある方は，下記の電子メールへメッセージをお送りください．また，下記ホーム・ページにおいても，これまで発表した機器等のご紹介をしています．今後の再生機器開発の参考にしていきたいと思いますので，みなさんのアクセスやメッセージをお待ちしています．

●ホーム・ページ
http://www.geocities.co.jp/Technopolis-Mars/4871/
●電子メール
seychelle777@hotmail.com